

УДК 551.242.11:552.5:54

РЕЗУЛЬТАТЫ U–Pb ДАТИРОВАНИЯ ОБЛОМОЧНЫХ ЦИРКОНОВ ИЗ КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНО-САХАЛИНСКОГО ТЕРРЕЙНА И ИХ ВОЗМОЖНЫЕ ИСТОЧНИКИ**Малиновский А.И.***ФГБУН «Дальневосточный геологический институт» Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, e-mail: malinovsky@fegi.ru*

В статье рассматриваются результаты U–Pb изотопного датирования обломочных цирконов из песчаных пород нижней и верхней частей разреза кайнозойских отложений Западно-Сахалинского террейна. Целью исследования было выяснение возраста и возможного положения магматических комплексов источников питания, поставивших обломочный материал в его седиментационные бассейны. Установлено, что песчаники террейна содержат обломочные цирконы с конкордантными U–Pb изотопными возрастами, варьирующими от докембрия до эоцена. Полученные данные позволяют говорить о существовании в кайнозое в источниках сноса широкого возрастного спектра пород. Возрасте основной популяции цирконов с палеоцен-эоценовыми (48–64 млн лет) и маастрихт-альбскими (65–106 млн лет) датировками свидетельствует о том, что основными поставщиками обломочного материала в седиментационные бассейны Западно-Сахалинского террейна, располагавшиеся в кайнозое вдоль края Азиатского континента, вероятнее всего, были гранитоиды богопольского, приморского и татибинского комплексов Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса. Обломочные цирконы с юрскими (155–199 млн лет), триасовыми (203–216 млн лет), пермскими (265–288 млн лет) и силурийскими (412–423 млн лет) датировками являются, по всей видимости, продуктами разрушения многочисленных разновозрастных гранитных массивов Ханкайского террейна западного Приморья. Источниками же самых древних цирконов с докембрийскими возрастами (1224–2420 млн лет) могут рассматриваться гранитно-метаморфические комплексы Сино-Корейского либо Сибирского кратонов, вынос материала с последнего мог осуществляться Палео-Амуром. Небольшое количество цирконов с раннемезозойскими, палеозойскими и докембрийскими возрастами позволяет предполагать, что гранитно-метаморфические комплексы, служившие их источниками, располагались на значительном расстоянии от бассейнов седиментации либо были уже полностью размыты и на осадконакопление влияли незначительно. На основании полученных данных можно говорить, что формирование отложений Западно-Сахалинского террейна происходило непосредственно вдоль края Азиатского континента в бассейне, связанном со сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам.

Ключевые слова: Западно-Сахалинский террейн, кайнозой, цирконы, U–Pb изотопное датирование**THE RESULTS OF U-PB DATING OF DETRITAL ZIRCONS FROM CENOZOIC DEPOSITS OF THE WEST SAKHALIN TERRANE AND THEIR POSSIBLE SOURCES****Malinovskiy A.I.***Far East Geological Institute Far East Branch Russian Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: malinovsky@fegi.ru*

The results of U–Pb isotopic dating of detrital zircons contained in the sandstones rocks of the lower and upper sectional parts of Cenozoic deposits from the West Sakhalin Terrane are studied in this article. The purpose of the research was establishing the age and possible location of magmatic complexes of source area, distributing clastic material into sedimentation basins. The sandstones of the terrain proved to contain detrital zircons with concordant U–Pb isotopic ages varying from the Precambrian to Eocene. The obtained data allow speaking about existence in the Cenozoic sources of demolition wide age a range of rocks. Age of the main population of zircons about a Palaeocene–Eocene (48–64 Ma) and Maastrichtia–Albian (65–106 Ma) datings demonstrate that granitoids of Bogopolsky, Primorsky and Tatibinsky complexes of the East Sikhote-Alin volcanic belt were the main suppliers of detrital material in the sedimentation basins of the West Sakhalin terrane which were located in the Cenozoic along edge of the Asian continent, most likely. Detrital zircons with Jurassic (155–199 Ma), Triassic (203–216 Ma), Permian (265–288 Ma) and Silurian (412–423 Ma) datings are most likely to be the failure products of numerous differently aged granite massifs of Khankaisky terrane of West Primorye. The granite-metamorphic complexes of Sino-Korean or Siberian cratons can be considered the sources of the most ancient zircons with the Precambrian ages (1224–2420 Ma) with the bearing out of the material being able to be accomplished by Paleo-Amur. A small amount of zircons with early Mesozoic, Paleozoic and Precambrian age allows to assume that the granite-metamorphic complexes which were their sources were located at considerable distance from sedimentary basins or were already completely indistinct and influenced sedimentation slightly. The data obtained permits us to claim that the formation of deposits of the West Sakhalin terrane took place directly at the margins of Asian continent in the basin connected with the shear dislocation having transform faults.

Keywords: West Sakhalin terrane, Cenozoic, zircons, U–Pb-isotopic dating

Одним из актуальнейших направлений литологического изучения террейнов, расположенных на восточной окраине Азиатского континента, является выяснение геодинамических обстановок формирования

слагающих их отложений, а также определение породного состава и возраста их обломочных частей.

Западно-Сахалинский террейн, расположенный на восточной границе Евразийской

плиты и входящий в состав мезозойско-кайнозойского Сахалинско-Камчатского орогенного пояса, имеет ключевое значение для понимания процессов эволюции зоны перехода от Тихого океана к Азиатскому континенту [1]. В результате проведенных с последние годы исследований были установлены геодинамические обстановки формирования отложений террейна, а также намечены основные источники питания, поставлявшие обломочный материал в его седиментационные бассейны [2, 3].

Целью исследований является уточнение возраста и возможного расположения размывавшихся источников питания на основании U-Pb изотопного датирования обломочных цирконов из кайнозойских терригенных отложений Западно-Сахалинского террейна. В сочетании с результатами традиционных литологических и биостратиграфических исследований полученные данные позволят в дальнейшем полнее расшифровать историю формирования его осадочных бассейнов [4].

Материалы и методы исследования

Для геохронологического изучения обломочных цирконов были отобраны две пробы песчаников: образец Н-20 из отложений эоценовой каменной свиты, обнажающейся в правом борту р. Августовки ($49^{\circ}40'06.9''$ с.ш. и $142^{\circ}14'12.0''$ в.д.), и образец Н-64 из отложений миоценовой верхнедуйской свиты, развитой в береговых обнажениях Татарского пролива у пос. Дуэ ($50^{\circ}49'22.9''$ с.ш. и $142^{\circ}05'25.1''$ в.д.) (рис. 1). Предварительная пробоподготовка и выделение обломочных цирконов из песчаных пород проведены в лаборатории региональной геологии и тектоники ДВГИ ДВО РАН. Цирконы из пород извлекались с помощью тяжелой жидкости (бромформ) после их дробления до 0,25 мм, а окончательный их отбор осуществлялся вручную под биноклем. U-Pb изотопные определения возрастов цирконов выполнены в лаборатории аналитической химии Аналитического центра (ЦКП) ДВГИ ДВО РАН методом LA-ICP-MS на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7500с, комбинированном с приставкой для лазерной абляции NWR-213.

Результаты исследования и их обсуждение

Западно-Сахалинский террейн представляет собой тектонический блок, протягивающийся вдоль побережья Татарского

пролива более чем на 650 км (рис. 1). Границами его служат две системы разломов – Западно-Сахалинская и Тымь-Поронайская. Южным продолжением террейна на о. Хоккайдо является пояс Сорачи-Йезо [1].

Кайнозойские отложения террейна мощностью до 12000 м представлены прибрежно-морскими и континентальными часто угленосными терригенными и вулканогенными породами: песчаниками, алевролитами, аргиллитами, гравелитами, конгломератами, туфами, туффитами, базальтами, углями. Породы в различной степени дислоцированы и с размывом, но без углового несогласия перекрывают меловые отложения. Следует отметить, что отложения, расположенные к северу и югу от широты г. Углегорска (49° с.ш.), различаются по мощностью и фаціальным обстановкам осадконакопления [2; 3, 5]. Кратко остановимся на характеристике каменной и верхнедуйской свит, из которых были отобраны пробы для U-Pb изотопного датирования обломочных цирконов. Залегающая в основании разреза кайнозойских отложений северной части террейна эоценовая каменная свита (мощностью до 250 м) представлена континентальными, преимущественно грубообломочными, терригенными отложениями. В нижней ее части преобладают конгломераты и гравелитами, в средней – грубозернистые песчаники и алевролиты, а в верхней – вновь доминируют конгломераты с прослоями и линзами песчаников, алевролитов и углей. Угленосная миоценовая верхнедуйская свита (мощностью до 600 м) с размывом перекрывает все более древние отложения. В основании обычны горизонты базальных конгломератов. Выше свита состоит из переслаивания песчаников, алевролитов и аргиллитов, содержащих многочисленные пласты и линзы угля, мощностью 2–4 м.

Для U-Pb изотопного датирования цирконов были использованы наиболее типичные по своим вещественным параметрам песчаные пород [3, 6]. Песчаники обеих изученных свит средне- и крупнозернистые со средней либо хорошей степенью окатанности и сортированности обломочного материала. По породообразующим компонентам они относятся к кварц-полевошпатовым и полевошпатово-кварцевым грауваккам. Обломочная часть представлена кварцем (24–33%), полевыми шпатами (23–33%) и обломками пород (33–51%), среди которых отмечаются кремнистые, вулканические и терригенные породы, кварциты и сланцы. Среди тяжелых обломочных ми-

нералов резко преобладает циркон, в отдельных пробах его содержание достигает 78 %. С цирконом находятся в ассоциации другие типичные представители гранитно-метаморфических пород – гранат (до 17%), турмалин (до 12%), апатит (до 8%). Кроме того, в заметных количествах присутствуют магнетит (до 42%), амфибол (до 11%), лейкоксен (до 8%) и хромит (до 7%). Реконструируемые по вещественному составу

песчаников обстановки осадконакопления соответствуют бассейнам активных континентальных окраин, осложненным сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам. Отложения формировались главным образом за счет размыва сиалической суши, сложенной древними гранитно-метаморфическими и осадочными породами, а также вулканитов энсиалической дуги, аккрезированной к краю континента [3, 6].

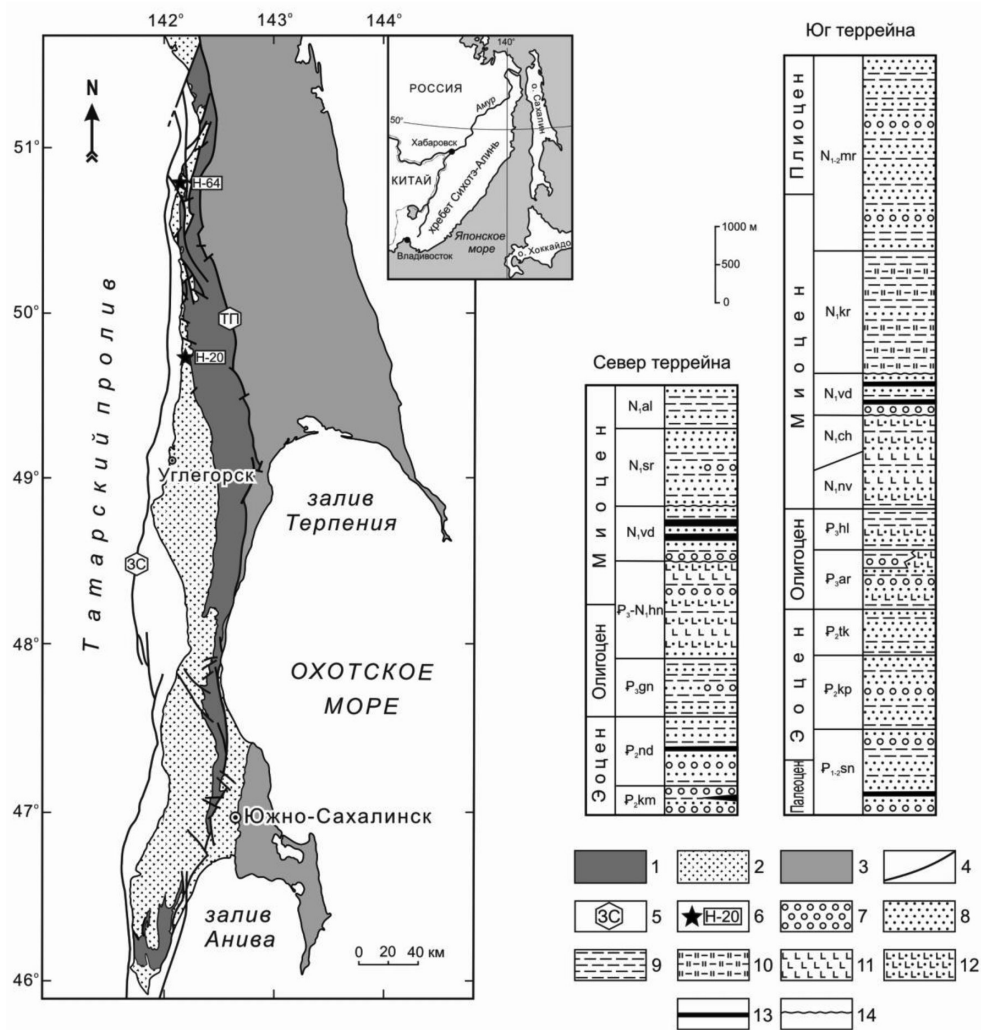


Рис. 1. Схематическая геологическая карта и стратиграфические колонки кайнозойских отложений южной и северной частей Западно-Сахалинского террейна. Для карты: 1 – меловые терригенные образования; 2 – палеоцен-плиоценовые терригенные и вулканогенные образования; 3 – террейны и перекрывающие комплексы Восточного Сахалина; 4 – разломы; 5 – системы разломов: ЗС – Западно-Сахалинская, ТП – Тымь-Поронайская; 6 – места отбора пробы и их номер. Для колонок: 7 – конгломераты и гравелиты; 8 – песчаники; 9 – алевролиты и аргиллиты; 10 – кремнисто-глинистые породы; 11 – базальты; 12 – туфы и туффиты; 13 – угли; 14 – стратиграфические несогласия. Индексы свит: $P_{1-2}sn$ – снежинкинская, P_2kt – каменная, P_2nd – нижнедуйская, P_2kp – краснопольевская, P_2tk – такарадайская, P_3ar – аракайская, P_3hl – холмская, P_3gn – геннойшинская, P_3-N_{1hn} – хойнджинская, N_{1nv} – невельская, N_{1ch} – чеховская; N_{1vd} – верхнедуйская, N_{1sr} – сертунайская, N_{1kr} – курасийская, N_{1al} – александровская; N_{1-2mr} – маруямская

Определение U-Pb изотопных возрастов обломочных цирконов из песчаников позволяет получить новые данные, детализирующие состав и возраст основных источников питания, поставлявших материал в кайнозойские седиментационные бассейны Западно-Сахалинского террейна.

Выделенные из песчаников зерна циркона представлены в основном бесцветными или слабоокрашенными розовыми кристаллами с короткопризматическими и дипирамидальными очертаниями с коэффициентом удлинения 1,5–2,5. Вершины и ребра кристаллов часто сглажены либо слабо окатаны. В катодолюминесцентном изображении (рис. 2) у большинства зерен наблюдается хорошо выраженная тонкая концентрическая зональность. В некоторых зернах присутствуют мелкие газовой-жидкие включения. Описанная группа цирконов имеет в основном мезо-кайнозойский возраст. Более древние зерна, как правило, средне или хорошо окатаны и не имеют четко выраженной зональности.

Результаты U-Pb датирования приведены на гистограммах и графиках плотности вероятности возрастов (рис. 3). Из 20 детритовых цирконов, изученных в песчаниках эоценовой каменной свиты (обр. Н-20), конкордантными оказались датировки лишь 14 зерен (дискордантность $|D| \leq 10\%$).

Проведенные исследования показали, что в изученных песчаниках присутствуют цирконы преимущественно палеоцен-эоценового (54–65 млн лет, 50% зерен) и мелового (69–99 млн лет, 36% зерен) возраста.

В резко подчиненном количестве (по одному зерну) встречаются цирконы юрского (166 млн лет) и позднедокембрийского (1375 млн лет) возраста. Обращает на себя внимание, что возраст самых «молодых» цирконов (54 и 55 млн лет) хорошо согласуется с биостратиграфическим возрастом свиты [5]. Среди 61 датированного обломочного циркона из песчаников миоценовой верхнедуйской свиты (обр. Н-64) конкордантными оказались 44 зерна. Большая часть из них также имеет палеоцен-эоценовый (46–64 млн лет, 25% зерен) и меловой (69–106 млн лет, 30%) возраст. Кроме того, часть зерен циркона характеризуются юрским (155–199 млн лет, 11%), триасовым (203–216 млн лет, 7%), пермским (265–288 млн лет, 7%) и силурийским (412–423 млн лет, 4%) возрастами. Остальные зерна образуют совокупность, имеющую широкий диапазон докембрийских возрастов (1224–2420 млн лет, 16%). Следует отметить, что очень близкие результаты были получены при U-Pb исследованиях возрастов цирконов из миоценовых отложений южной части Западно-Сахалинского террейна [7]. В обоих случаях на диаграммах вероятности распределения U-Pb изотопных возрастов цирконы образуют сходные возрастные совокупности, характеризующиеся преобладанием палеогеновой и меловой возрастных групп и подчиненными пермско-юрской, раннепалеозойской и докембрийской группами.

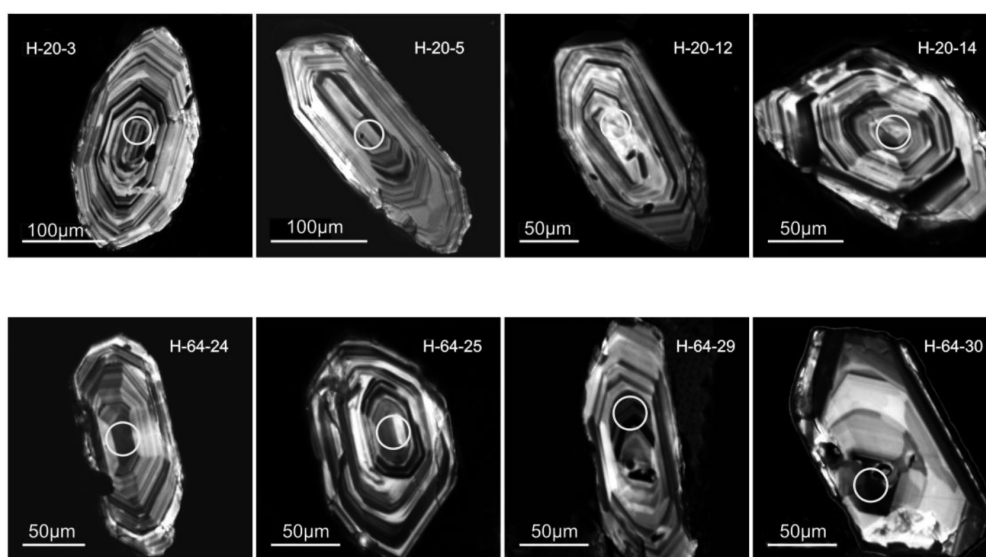


Рис. 2. Катодолуминесцентные изображения обломочных цирконов с конкордантными U-Pb возрастами из песчаников каменной (проба Н-20) и верхнедуйской (проба Н-64) свит

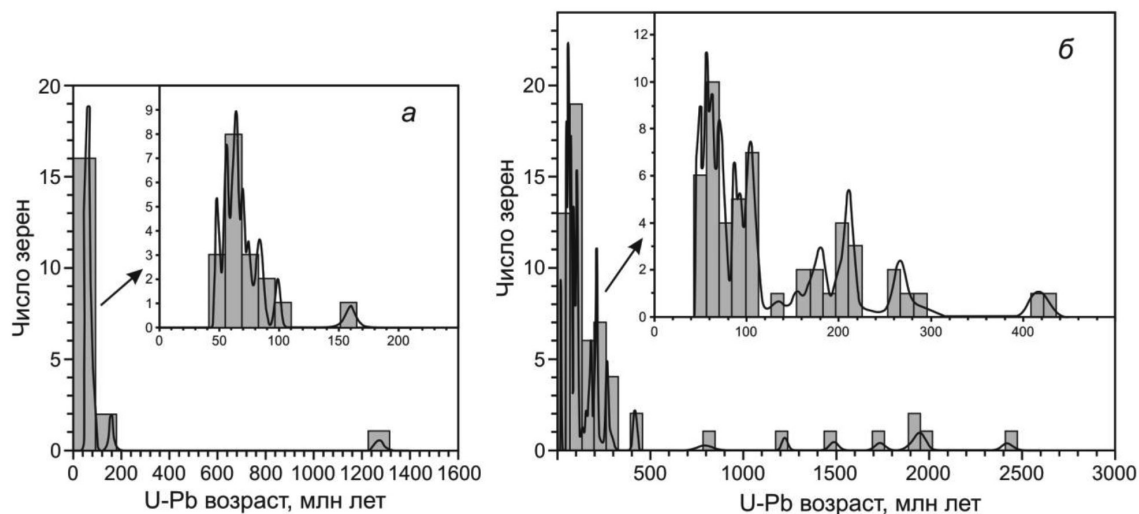


Рис. 3. Гистограммы и графики плотности вероятности распределения U-Pb изотопных возрастов обломочных цирконов из песчаных пород: а – каменской (проба Н-20) и б – верхнеудинской (проба Н-64) свит

Полученные данные по U-Pb датированию обломочных цирконов свидетельствуют, что область питания, поставлявшая обломочный материал в седиментационные бассейны Западно-Сахалинского террейна, в кайнозое объединяла в себе широкий возрастной спектр гранитно-метаморфических пород, слагавших зрелую континентальную кору восточной окраины Азиатского континента. Источниками двух самых многочисленных популяций цирконов с палеоцен-эоценовыми и маастрихт-альбскими датировками (48–64 и 65–106 млн лет), вероятнее всего, были гранитоиды богопольского, а также приморского и татибинского комплексов соответственно, широко распространенных в Восточно-Сихотэ-Алинском вулканическом поясе (Приморье) [8]. В качестве источников цирконов с возрастом 155–423 млн лет могут рассматриваться многочисленные раннепалеозойские-раннемезозойские гранитные массивы Ханкайского террейна Приморья, а наиболее древних (1224–2420 млн лет) – гранитно-метаморфические комплексы Сино-Корейского либо Сибирского кратонов [1], вынос материала с которого мог осуществляться Палео-Амуром.

Таким образом, данные U-Pb изотопного датирования обломочных цирконов из песчаников кайнозоя Западно-Сахалинского террейна позволяют установить главные и второстепенные источники обломочного материала, выполняющего его осадочные

бассейны. Главными источниками материала при формировании кайнозойских отложений послужили вовлеченные в область денудации палеоцен-эоценовые и маастрихт-альбские гранитоиды восточной части хребта Сихотэ-Алинь. Небольшая доля зерен с раннемезозойскими, палеозойскими и докембрийскими возрастными позволяет предполагать, что гранитно-метаморфические комплексы, служившие их источниками, располагались на значительном расстоянии от бассейнов седиментации либо были уже полностью размыты и на осадконакопление влияли в значительно меньшей мере.

Следует отметить, что полученные данные о возрасте обломочных цирконов и их вероятных магматических источниках подтверждают существующее мнение о формировании кайнозойских отложений Западно-Сахалинского террейна непосредственно вдоль края Азиатского континента в бассейне, связанном с крупномасштабными сдвигами дислокациями по трансформным разломам [2, 6, 7], а не в преддуговом бассейне океанической островной дуги.

Закключение

С целью выяснения возраста и возможного положения источников питания, поставивших обломочный материал в кайнозойские седиментационные бассейны Западно-Сахалинского террейна, было проведено U-Pb изотопное датирование обломочных цирконов из песчаных пород

нижней и верхней частей его разреза. Исследованиями были обнаружены цирконы широкого возрастного диапазона. Большая часть из них имеет палеоцен-эоценовый и меловой возраст, что свидетельствует об их происхождении из гранитоидов богопольского, приморского и татибинского комплексов Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса. Источниками цирконов с юрскими, триасовыми, пермскими и силурийскими возрастами могут рассматриваться гранитные массивы Ханкайского террейна Приморья, а наиболее древних, докембрийских, гранитно-метаморфических комплексы Сино-Корейского либо Сибирского кратонов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-05-00857-а.

Список литературы / References

1. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Под ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.
Geodynamics, Magmatism and Metallogeny of the Russian East / Ed. A.I. Khanchuk. Vladivostok: Dalnauka, 2006. Book 1. 572 p. (in Russian).
2. Голозубов В.В., Касаткин С.А., Гранник В.М., Нечаюк А.Е. Деформации позднемеловых и кайнозойских комплексов Западно-Сахалинского террейна // Геотектоника. 2012. № 5. С. 22–44.
Golozubov V.V., Kasatkin S.A., Grannik V.M., Nechaev A.E. Deformation of the Upper Cretaceous and Cenozoic complexes of the West Sakhalin terrane // Geotectonics. 2012. vol. 46. no. 5. P. 333–351. DOI: 10.1134/S0016852112050020.
3. Малиновский А.И. Геохимия и палеогеодинамические обстановки формирования кайнозойских отложений Западно-Сахалинского террейна // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 2018. Т. 93. № 2. С. 54–70.
Malinovsky A.I. Geochemistry and paleogeodynamic settings of the formation of Cenozoic deposits of the West Sakhalin Terrane // Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelej prirody. Otdel geologicheskij. 2018. V. 93. № 2. P. 54–70 (in Russian).
4. Маслов А.В., Мизенс Г.А., Вовна Г.М., Киселёв В.И., Ронкин Ю.Л. Обломочные цирконы из песчаников нижнего триаса Бельской впадины Предуралья: LA-ICP-MS U-Pb изотопные возраста и распределение редких и рассеянных элементов // Литосфера. 2016. № 1. С. 7–28.
Maslov A.V., Mizens G.A., Vovna G.M., Kiselev V.I., Ronkin Yu.L. Detrital zircons from Lower Triassic sandstones, Belsky depression, Pre-Uralian foredeep: LA-ICP-MS U-Pb isotopic ages and distribution of rare and trace elements // Lithosphere. 2016. № 1. P. 7–28 (in Russian).
5. Гладенков Ю.Б., Баженова О.К., Гречин В.И., Маргулис Л.С., Сальников Б.А. Кайнозой Сахалина и его нефтегазоносность. М.: ГЕОС, 2002. 225 с.
Gladenkov Yu.B., Bazhenova O.K., Grechin V.I., Margulis L.S., Salnikov B.F. The Cenozoic geology and gas presence in Sakhalin. M.: GEOS, 2002. 225 p. (in Russian).
6. Малиновский А.И. Состав и геодинамическая природа песчаников кайнозоя юга Западно-Сахалинского прогиба // Успехи современного естествознания. 2016. № 3. С. 171–176.
Malinovsky A.I. Composition and geodynamic nature of the Cenozoic sandstones in the south of the West Sakhalin basin // Advancer in current natural sciences. 2016. № 3. P. 171–176 (in Russian).
7. Zhao P., Li J.-j., Alexandrov I., Ivin V., Jahn B.-m. Involvement of old crustal materials during formation of the Sakhalin Island (Russian Far East) and its paleogeographic implication: Constraints from detrital zircon ages of modern river sand and Miocene sandstone // J. Asian Earth Sci. 2017. V. 146. P. 412–430. DOI: 10.1016/j.jseas.2017.06.031.
8. Гребенников А.В., Попов В.К., Ханчук А.И. Опыт петрохимической типизации кислых вулканических пород различных геодинамических обстановок // Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32. № 3. С. 68–73.
Grebennikov A.V., Popov V.K., Khanchuk A.I. Experience of petrochemical typification of acid volcanic rocks from different geodynamic settings // Russian Journal of Pacific Geology. 2013. Vol. 7. № 3. P. 212–216. DOI: 10.1134/S1819714013030044.